农产品贮藏与加工

不同气调包装对冷鲜羊肉保鲜效果研究

周立¹, 张锐¹, 王卫¹, 张佳敏¹, 王素^{1,2}, 侯成立², 白婷¹

(1. 成都大学 a. 肉类加工四川省重点实验室 b. 食品与生物工程学院, 成都 610106; 2. 中国农业科学院农产品加工所重点实验室, 北京 100193)

摘要: **目的** 筛选出合适的气调包装, 以延长冷鲜羊肉的货架期。**方法** 通过测定 70% N₂ + 30% CO₂ (CO₂ 组)、70% O₂ + 30% CO₂ (O₂ 组) 和 0.4% CO + 69.6% N₂ + 30% CO₂ (CO 组) 3 种气调包装和真空包装 (Vac 组) 在 4 °C 贮藏条件下, 黑山羊背最长肌的菌落总数、pH、色度、挥发性盐基氮含量 (Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸反应物值 (Thiobarbituric Acid Reactive Substance, TBARS)、水分活度、水分含量、剪切力等品质指标的变化, 比较不同气调包装和真空包装对冷鲜羊肉贮藏保鲜效果。**结果** Vac 组的微生物增殖最快, 并于贮藏 21 d 后, 微生物菌落总数达到 6.32 lg(CFU/g), 超过了国家二级鲜肉标准。相较于 Vac 组, CO₂ 组表现出对微生物增殖的明显抑制效果, 在贮藏第 7 天和第 14 天菌落总数显著低于 Vac 组, 但 CO₂ 组对肉色的保持作用不及 O₂ 组。在贮藏的整个过程中, O₂ 组虽然能较好地保持冷鲜羊肉的红色但同时也加速了脂肪的氧化, 贮藏第 14 天时, TBARS 值显著高于 Vac 组和 CO₂ 组。CO 组在贮藏第 14 天时, 菌落总数为 4.15 lg(CFU/g), 显著低于其他 3 组, 符合国家二级鲜肉标准, 其 a* 值显著高于其他 3 组, 并且同时减缓了蛋白质和脂肪氧化速度, 增加消费者的购买欲望。**结论** 4 组不同包装的冷鲜羊肉菌落总数在第 14 天时均符合国家二级鲜肉标准, 可以使黑山羊生鲜羊肉保鲜至 14 d, 其中 CO 组的菌落总数最低, 并且 pH 值较低的同时能很好地维持羊肉的鲜红色, 因此 CO 气调包装是较好的羊肉保鲜技术。

关键词: 羊肉; 气调包装; 低温; 货架期

中图分类号: TS251.44 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2022)21-0001-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.21.001

Effects of Different Modified Atmospheres Packaging on Preservation of Mutton in Chilled Storage

ZHOU Li¹, ZHANG Rui¹, WANG Wei¹, ZHANG Jia-min¹, WANG Su^{1,2}, HOU Cheng-li², BAI Ting¹

(1. a. Key Laboratory of Meat Processing of Sichuan Province b. College of Food and Bioengineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China; 2. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

ABSTRACT: The work aims to select a proper modified atmosphere packaging to extend the shelf life of mutton in chilled storage. Three types of MAP, 70% N₂ + 30% CO₂ (CO₂ group), 70% O₂ + 30% CO₂ (O₂ group), 0.4% CO + 69.6%

收稿日期: 2022-08-12

基金项目: 农业农村部农产品加工重点实验室和农业农村部农产品质量安全收贮运管控重点实验室开放课题项目 (S2020KFKT-04); 国家重点研发 (绿色宜居村镇技术创新) 项目-四川省凉山州肉羊提质增效技术集成与示范-昭觉县凉山半细毛羊提质增效技术体系构建与示范推广 (2021YFD1100201); 肉类加工四川省重点实验室开放基金项目 (20-R-26)

作者简介: 周立 (1996—), 男, 硕士生, 主攻肉产品加工与贮藏保鲜。

通信作者: 张锐 (1984—), 男, 博士, 特聘副研究员, 主要研究方向为肉产品加工与贮藏保鲜。

$N_2 + 30\% CO_2$ (CO group), and a vacuum packaging (Vac group) were tested during storage at 4°C. The total bacterial count, pH, meat color, total volatile basic nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid reactive substance (TBARS), water activity, water content and shear force of black goat longissimus dorsi (LD) muscle were measured to compare the effects of different MAPs and vacuum packaging on preservation of mutton in chilled storage. The results showed that the microorganism of Vac group the concentration of microorganism in Vac group is the highest. The total number of colonies, 6.32 lg(CFU/g), in Vac group was much higher than those of three MAP groups at the 21st day of storage. Compared with the Vac group, the total number of colonies in CO_2 group was significantly less at the 7th and 14th days of storage. However, meat color of CO_2 group was less stable than that of O_2 group. But fat oxidation was accelerated in O_2 group. On the 14th day of storage, TBARS value of O_2 group was significantly higher than that of Vac and CO_2 groups. Compared with the rest three groups, the total number of colonies, 4.15 lg(CFU/g), in CO group was significantly lower on the 14th day of storage, which was in line with the national secondary fresh meat standard. The a^* value of CO group was significantly higher than those of the other three groups. Moreover, the oxidation of protein and fat in CO group was reduced, which increased consumers' purchase desire. The total number of colonies of four packages meet the national secondary fresh meat standard on the 14th day. The fresh mutton can be preserved for 14 days. CO group has the lowest total number of colonies. The fresh color of the mutton can be properly maintained in the meantime of keeping low pH value. Therefore, CO MAP is the best fresh-keeping technology for mutton.

KEY WORDS: mutton; modified atmospheres packaging; low temperature; shelf life

金堂黑山羊作为西南地区羊肉产业的重要地方支柱品种,具有生长速度快,料肉比高,繁殖率高等特点,羊肉中含有丰富的维生素A、矿物质、不饱和脂肪酸和氨基酸,其肉质细嫩,无明显膻味,深受市场消费者喜欢^[1]。目前市场上90%以上的羊肉是以生鲜羊肉、冻胴体和二分体等形式销售,其中生鲜羊肉不易保存并且屠宰环境和物流环节不规范,设备设施较落后,储藏保鲜技术不成熟,运输和售卖途中存在污染变质的可能。以上这些问题,制约了羊肉产业进一步发展。随着肉类安全性被人们越来越重视,具有肉质柔软多汁、色泽鲜艳、营养价值高等优点的冷鲜肉备受关注,逐渐成为肉类市场消费主流。气调包装和低温保藏是鲜肉保鲜的黄金组合,目前已在猪肉和牛肉上应用较多,而针对羊肉的气调包装正处于起步阶段。

气调包装技术是利用不同比例混合气体替换食品包装里的空气,改变冷鲜肉周围的气体,减慢微生物的繁殖速率,维持生鲜肉的色泽,延缓肉类营养成分的变质,最终达到保鲜和延长货架期的效果。 CO_2 是气调保鲜中抑制细菌生长最关键的气体成分,可以显著减缓需氧微生物在对数生长期的生长速率^[2]。张新笑等^[3]研究了冷鲜鸡肉中荧光假单胞菌在不同 CO_2 比例包装下的生长情况,结果表明20%~40%的 CO_2 气调包装能有效抑制荧光假单胞菌的繁殖。然而, CO_2 水溶性高,易与食品中的水分结合,使气调包装塌陷,对产品质量及外观产生不良的影响^[4]。高浓度 O_2 (含氧量为70%~80%)可以促使 O_2 与肌红蛋白的结合,并向鲜肉内部渗透,提升了鲜肉中氧合肌红蛋白的浓度,有利于保持鲜红的肉色^[5]。张福生等^[6]研究安徽地方品种猪肉在不同比例高氧气调包装组中

的品质变化,其研究发现2组不同比例高氧气调包装组的 a^* 值下降相对较慢,并且 L^* 值和 b^* 值在整个贮藏期中一直高于对照包装组。与 O_2 相比,CO呈现出与肌红蛋白结合更强的能力,形成碳氧肌红蛋白,使肉表面形成更为稳定的鲜红色^[7]。根据相关研究证明,鲜肉气调包装中CO体积分数在0.4%~1%就足以产生稳定的樱桃红色。甄少波等^[8]研究发现,用0.4%、2.0%和4.0%3个不同体积分数的CO气调保鲜肉喂食的大鼠,其血常规和生化及病理组织学指标均未发生显著变化,且无其他毒性反应。 N_2 是理想的惰性气体,其不会被食品吸收同时也不与食品发生化学反应,并且无味无臭,延缓食品的氧化变质而且降低了肉品的汁液损失率。

研究以四川金堂黑山羊为研究对象,以实际生产中应用较多的真空包装为对照,对比3种气调包装方案,研究70% $N_2 + 30\% CO_2$ (CO_2 组)、70% $O_2 + 30\% CO_2$ (O_2 组)和0.4% $CO + 69.6\% N_2 + 30\% CO_2$ (CO组)的气调包装羊肉在4°C冷藏条件下肉品质变化规律,以确定羊肉气调保鲜最佳方案,极大地提高了羊肉的货架期,解决了羊肉不易贮藏的产业难题,为四川羊肉产业技术升级提供了技术储备。

1 实验

1.1 材料与试剂

主要材料与试剂:四川省金堂县黑山羊养殖基地屠宰场取12月龄去势四川金堂黑山羊背最长肌;氯化钠、氢氧化钠、盐酸、硼酸、氧化镁、磷酸二氢钠和磷酸氢二钠等,由成都科龙化工有限公司提供。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:冰箱 BCD-452WDPF 型:青岛海尔股份有限公司;插入式 pH 计 Testo 205 型:德国仪器国际贸易有限公司;色差仪 CR-10 型:柯尼卡美能达投资有限公司;精密电子天平 AL-104 型:上海梅特勒-托利多仪器设备有限公司;水分含量测量仪 HD-3A 型:无锡华科公司;HD-5 型智能水分活度测量仪:无锡市华科公司;质构仪(TA.XT plus):英国 Stable Micro Systems 公司;气调包装机:嘉兴艾博实业有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 实验分组

黑山羊背最长肌,4℃排酸 24 h,取出后在无菌操作台上去除表面脂肪、筋膜,修整完毕后,每块肉约 50 g,其中用于测量剪切力值的肉约为 80 g,尽量保持肉块性状相似,每盒 5 块肉,每组 3 个生物学重复,共约 13 kg 羊肉。盒中单独一块肉用于微生物检测,pH 和色度共用同一块肉检测,挥发性盐基氮值(Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N)和硫代巴比妥酸反应物值(Thiobarbituric Acid Reactive Substance, TBARS)共用同一块肉进行检测,剩余肉用于测定剪切力,水分含量与水分活度。按表 1 中的气体比例进行气调包装,随机分配到 4 个包装组。用食品级 PP 材质包装盒(22 cm×13 cm×4 cm),CPP/PE 材质封口膜[透氧率 $8.19 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot \text{Pa})$;水蒸气透过率 $6.43 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$]进行气调包装。气调包装后的羊肉放入 4℃冰箱保存,分别于 Day0、Day7、Day14、Day21、Day28 对羊肉的菌落总数、pH 值、色度、挥发性盐基氮值(Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸反应物值(Thiobarbituric Acid Reactive Substance, TBARS)、剪切力等指标进行测定。

表 1 不同包装的气体配比
Tab.1 Gas ratio of different packages

分组	O ₂ 体积 分数/%	N ₂ 体积 分数/%	CO 体积 分数/%	CO ₂ 体积 分数/%
Vac 组	—	—	—	—
CO ₂ 组	—	70	—	30
O ₂ 组	70	—	—	30
CO 组	—	69.6	0.4	30

1.3.2 微生物的测定

菌落总数按 GB 4789.2—2016《食品微生物学检验:菌落总数测定》^[9]进行测定,评价标准为一级鲜肉菌落总数不大于 4 lg(CFU/g),二级鲜肉菌落总数

为 4~6 lg(CFU/g),变质肉菌落总数大于 6 lg(CFU/g)。对于每个处理组,取平行测定 3 次的平均值。

1.3.3 pH 值的测定

参考马惠敏等^[10]的方法,校正 pH 计,将手持式 pH 计插入羊肉块中,避开筋膜,深度约 2 cm,对于每一块肉,取平行测定 5 次的平均值。

1.3.4 色度的测定

参考姜宏正等^[11]的方法,使用白板校正色差仪,用色差仪探头紧贴肉的表面,测定羊肉的 L*(亮度)、a*(红度)、b*(黄度),对于每一块肉,平行测定 5 次,取其平均值作为该肉块的色度值。

1.3.5 挥发性盐基氮值(TVB-N)的测定

参考 GB 5009.228—2016《食品中挥发性盐基氮的测定》^[12]中的半微量定氮法对羊肉进行测定。对于每一块肉,取平行测定 3 次的平均值。

1.3.6 硫代巴比妥酸反应物值(TBARS)的测定

参考 GB 5009.181—2016《食品中丙二醛的测定》^[13]的方法进行测定,对于每一块肉,取平行测定 3 次的平均值。

1.3.7 水分活度的测定

每盒中取出一块羊肉(约 20 g)制成肉糜,称取约 5 g 铺满于样品皿内,使用水分活度测量仪进行测量,对于每一块肉,取平行测定 3 次的平均值。

1.3.8 水分含量的测定

每盒中取出一块羊肉(约 15 g)制成肉糜,称取约 3 g 置于校准好的水分测定仪的样品盘内进行测量,对于每一块肉,取平行测定 3 次的平均值。

1.3.9 剪切力的测定

参考王柏辉等^[14]的方法,将羊肉沿着肌纤维方向切成 3 cm×1 cm×1 cm 的小块,采用 HDP/BSW 探头,以测前速率为 2.0 mm/s,测试速率为 1.0 mm/s,测后速率为 2.0 mm/s 进行测定,对于每一块肉,取平行测定 3 次的平均值。

1.4 数据处理

实验数据使用 Microsoft Excel 2019 进行数据统计,IBM SPSS Statistics 22.0 统计软件中的 Duncan 程序分析数据间的显著性差异($P < 0.05$)分析。

2. 结果与分析

2.1 不同包装方式对羊肉菌落总数的影响

微生物是引起生鲜羊肉变质的主要原因,羊肉中的蛋白质会因微生物代谢所分泌的蛋白酶而分解,而产生氨、胺类等碱性化合物,最终导致羊肉产生异

味, 腐败变质。由表 2 可知, 在整个羊肉保鲜过程中, 不同处理组的微生物数量都随着贮藏时间的延长而增加。贮藏过程中, Vac 组和 O₂ 组的菌落总数相对较高。在贮藏初期, O₂ 组高氧环境抑制了厌氧菌的繁殖, 贮藏第 7 天开始, 菌落总数增长较为迅速, 这可能是由于氧气浓度较高易使得好氧菌得以繁殖^[15]。CO₂ 组和 CO 组菌落总数增长较为缓慢, 这可能是由于 2 种包装气体中都不含氧气并且都含有 CO₂ 气体, 对微生物具有较好的抑制作用。第 14 天时, Vac 组、CO₂ 组、O₂ 组、CO 组的菌落总数分别为 5.73、5.17、5.96、4.15 lg (CFU/g), 符合国家二级鲜肉标准, 其中 CO 组的菌落总数显著低于其他 3 组 ($P < 0.05$)。

2.2 不同包装方式对羊肉 pH 值的影响

pH 值可以反映羊肉的肉质优劣情况^[16], 由表 3 可以看出, 在整个贮藏过程中, pH 值在 5.5~5.9 范围内波动, 呈逐渐上升趋势, 且均属于一级鲜肉的 pH 值要求^[17]。在第 14~28 天内, 各组数值皆有波动, 可能是由于各类微生物生长迅速以及肉质本身环境气体的影响所导致。贮藏第 21 天时, CO₂ 组 pH 值是 5.78, CO 组 pH 值是 5.66, 2 组呈下降趋势, 这可能是因为 2 组包装盒内不含氧气, 在厌氧糖酵解酶的作用

下, 肌肉糖原产生的丙酮酸和乳酸较多, 引起 pH 值下降^[18]。贮藏第 28 天时, CO₂ 组和 CO 组 pH 值分别是 5.81 和 5.70, 相对于第 21 天 pH 值上升, 这可能是由于贮藏后期, 肌肉蛋白质在微生物所分泌的蛋白分解酶和内源蛋白酶的作用下降解为氨基酸和多肽, 并且释放出碱性基团使得各组的 pH 值回升^[19], 相对于其他 3 组包装方式, 其中 CO 组的 pH 值相对较低。

2.3 不同包装方式对羊肉色度的影响

肉色变化是消费者评判鲜肉新鲜程度的一个重要指标, 极大地影响消费者购买选择^[20]。L* 越大, 表示肉色越亮, a* 为正值表示偏红, 负值表示肉色偏绿, b* 值较高表明肉色较黄, 反之则较蓝。由表 4 可知, 在贮藏第 7 天时, Vac 组的 L* 值显著高于其他 3 组 ($P < 0.05$), 这可能是由于真空包装抽气, 羊肉受到挤压使得内部水分渗出导致对光的反射能力增强。对羊肉而言, 其色度的 a* 值比 L* 值、b* 值等指标更重要, O₂ 组中高浓度氧气与羊肉中肌红蛋白反应形成氧合肌红蛋白, 使羊肉呈现鲜红色。CO 组 a* 值又高于 O₂ 组, 这是由于和氧气相比, 一氧化碳与肌红蛋白的结合能力更强, 结合形成碳氧肌红蛋白, 使肉

表 2 不同包装方式的羊肉在 4 °C 条件下贮藏过程中菌落总数的变化

Tab.2 Changes in the total number of colonies of mutton with different packaging methods during storage at 4 °C lg(CFU/g)

贮藏时间/d	Vac 组	CO ₂ 组	O ₂ 组	CO 组
0	3.24±0.06 ^{Ae}	3.24±0.06 ^{Ad}	3.24±0.06 ^{Ac}	3.24±0.06 ^{Ad}
7	3.74±0.06 ^{Ad}	3.30±0.08 ^{Bd}	3.33±0.06 ^{Bc}	3.28±0.04 ^{Bd}
14	5.73±0.26 ^{ABc}	5.17±0.25 ^{Bc}	5.96±0.57 ^{Ab}	4.15±0.15 ^{Cc}
21	6.32±0.06 ^{ABb}	6.12±0.13 ^{Bb}	6.49±0.17 ^{Ab}	6.08±0.14 ^{Bb}
28	7.52±0.03 ^{Aa}	6.85±0.02 ^{Ba}	7.49±0.03 ^{Aa}	6.79±0.02 ^{Ca}

注: 上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一包装不同天数之间比较, 不同大写字母表示同一天数不同包装之间比较。

表 3 不同包装方式的羊肉在 4 °C 条件下贮藏过程中 pH 值的变化

Tab.3 pH changes of mutton with different packaging methods during storage at 4 °C

贮藏时间/d	Vac 组	CO ₂ 组	O ₂ 组	CO 组
0	5.63±0.01 ^{Abc}	5.63±0.01 ^{Ac}	5.63±0.01 ^{Ac}	5.63±0.01 ^{Ac}
7	5.56±0.03 ^{Bc}	5.68±0.09 ^{Abc}	5.70±0.04 ^{Abc}	5.72±0.04 ^{Aab}
14	5.65±0.06 ^{Bb}	5.87±0.02 ^{Aa}	5.72±0.08 ^{Bbc}	5.75±0.06 ^{ABa}
21	5.66±0.06 ^{Ab}	5.78±0.06 ^{Aab}	5.78±0.08 ^{Ab}	5.66±0.04 ^{Abc}
28	5.79±0.02 ^{BCa}	5.81±0.07 ^{ABa}	5.89±0.02 ^{Aa}	5.70±0.05 ^{Cabc}

注: 上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一包装不同天数之间比较, 不同大写字母表示同一天数不同包装之间比较。

表面形成稳定的樱桃红色^[21]。贮藏到第 28 天时, 微生物的大量生长繁殖促进了高铁肌红蛋白的形成, 使肉色变暗, 各组 a^* 值下降^[22]。对比 4 种包装, CO 组的 a^* 值始终高于其他 3 组。在整个贮藏期中, Vac 组的 b^* 值较低, 其肉色表现为暗淡、无光泽^[23]。在贮藏期第 7~21 天内, CO₂ 组和 Vac 组 b^* 呈上升趋势, 这可能是由于脂质与磷脂头中的胺之间的反应而产生的黄色色素基团或蛋白质胺^[24]。贮藏第 28 天, CO 组 b^* 值相对偏高。基于以上结果, 在保持肉色方面, CO 气调包装更具有优势。

2.4 不同包装方式对羊肉挥发性盐基氮值的影响

挥发性盐基氮 (Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N), 是评定肉质鲜度变化的重要指标。TVB-N

含量越高, 营养价值就越低。在国标中规定, 一级鲜肉的 TVB-N 值不高于 0.15 mg/g, 二级鲜肉不高于 0.20 mg/g。由表 5 可以看出, TVB-N 值随着贮藏时间的延长而逐渐增加, 反应了羊肉在贮藏过程中逐渐变质, 这主要是由于蛋白质在细菌酶的作用下不断降解, 氨和胺类碱性物质不断增加^[25]。在整个贮藏期间, Vac 组的数值增长最快, 在贮藏第 28 天时, Vac 组 TVB-N 值已经突破二级鲜肉标准, 主要是由于真空包装的冷鲜羊肉会产生大量渗出液, 为微生物迅速繁殖创造了适宜的环境^[26]。在无氧的条件下, 各类好氧腐败菌如假单胞菌等生长较少, 蛋白质分解较慢, 产生含氮碱性物质偏少, 因此 CO₂ 组和 CO 组 TVB-N 值一直处于较低水平。贮藏第 28 天时, Vac 组、CO₂ 组、O₂ 组、CO 组的 TVB-N 值分别为 0.25、0.16、0.18、0.12 mg/g, 其中 CO 组的 TVB-N 值属于一级鲜肉范围。

表 4 不同包装方式的羊肉在 4 °C 条件下贮藏过程中色度的变化
Tab.4 Color changes of mutton with different packaging methods during storage at 4 °C

测定指标	时间/d	Vac 组	CO ₂ 组	O ₂ 组	CO 组
L^*	0	44.27±0.10 ^{Ab}	44.27±0.10 ^{Abc}	44.27±0.10 ^{Ab}	44.27±0.10 ^{Ab}
	7	45.20±0.01 ^{Da}	44.64±0.10 ^{Cb}	42.79±0.08 ^{Bc}	43.95±0.08 ^{Ab}
	14	40.82±0.50 ^{Cc}	43.13±0.78 ^{Bc}	45.74±0.37 ^{Aa}	43.13±0.57 ^{Bb}
	21	40.64±0.31 ^{Bc}	44.07±0.82 ^{Abc}	40.53±0.73 ^{Bd}	43.54±0.85 ^{Ab}
	28	44.55±0.41 ^{BCb}	47.19±0.98 ^{Aa}	43.59±0.35 ^{Cb}	45.56±0.90 ^{Ba}
a^*	0	14.07±0.18 ^{Ab}	14.07±0.18 ^{Ab}	14.07±0.18 ^{Ab}	14.07±0.18 ^{Ac}
	7	11.09±0.24 ^{Bc}	11.22±0.27 ^{Bc}	11.19±0.80 ^{Bc}	12.55±0.28 ^{Ac}
	14	15.35±0.88 ^{Ba}	14.28±0.89 ^{Bb}	12.16±0.64 ^{Cc}	18.57±0.29 ^{Aa}
	21	15.53±0.10 ^{Ba}	16.11±0.67 ^{ABa}	16.33±0.63 ^{ABa}	16.78±0.15 ^{Ab}
	28	11.14±0.49 ^{Bc}	9.22±0.88 ^{Cd}	11.05±0.65 ^{Bc}	13.31±0.30 ^{Ad}
b^*	0	5.00±0.40 ^{Ab}	5.00±0.40 ^{Ac}	5.00±0.40 ^{Ab}	5.00±0.40 ^{Ab}
	7	2.52±0.70 ^{Cc}	5.99±0.17 ^{Ac}	3.33±0.62 ^{Cc}	3.62±0.26 ^{Bc}
	14	5.52±0.74 ^{Cb}	7.23±0.68 ^{Bb}	9.13±0.38 ^{Aa}	10.20±0.66 ^{Aa}
	21	6.94±0.54 ^{Ca}	12.29±0.90 ^{Aa}	8.91±0.53 ^{Ba}	4.56±0.10 ^{Db}
	28	0.52±0.43 ^{Bd}	2.85±0.44 ^{Ad}	1.77±0.83 ^{Ac}	2.87±0.57 ^{Ac}

注: 上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一包装不同天数之间比较, 不同大写字母表示同一天数不同包装之间比较。

表 5 不同包装方式的羊肉在 4 °C 条件下贮藏过程中挥发性盐基氮值的变化
Tab.5 Changes of total volatile basic nitrogen values of mutton with different packaging methods during storage at 4 °C mg/g

贮藏时间/d	Vac 组	CO ₂ 组	O ₂ 组	CO 组
0	0.02±0.00 ^{Ad}	0.02±0.00 ^{Ac}	0.02±0.00 ^{Ad}	0.02±0.00 ^{Ad}
7	0.08±0.00 ^{Ac}	0.05±0.00 ^{Cbc}	0.08±0.00 ^{Ac}	0.07±0.00 ^{Bc}
14	0.09±0.01 ^{Ac}	0.08±0.00 ^{ABb}	0.08±0.00 ^{ABc}	0.07±0.00 ^{Bc}
21	0.16±0.03 ^{Ab}	0.13±0.01 ^{ABa}	0.15±0.01 ^{Ab}	0.11±0.00 ^{Bb}
28	0.25±0.03 ^{Aa}	0.16±0.03 ^{BCa}	0.18±0.02 ^{Ba}	0.12±0.02 ^{Aa}

注: 上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一包装不同天数之间比较, 不同大写字母表示同一天数不同包装之间比较。

2.5 不同包装方式对羊肉硫代巴比妥酸反应物值的影响

硫代巴比妥酸反应物值 (Thiobarbituric Acid Reactive Substance, TBARS) 广泛应用于肉类食品氧化程度评价, 脂肪氧化也是羊肉腐败变质的重要原因之一。羊肉的 TBARS 值越大, 其氧化程度越高, 表明羊肉酸败程度越严重。由表 6 可知, 各组的 TBARS 值总体上随贮藏时间的延长而不断增加。O₂ 组在整个贮藏期间, TBARS 值都高于其他各组, 高氧气调包装会增加贮藏过程中羊肉脂肪氧化的速度, 进而导致肉的多汁性变差, 这与袁璐等^[27]在比较高氧包装和真空包装对冷鲜肉的理化影响研究中得到的结果一致。第 21 天时 O₂ 组和 CO 组呈下降趋势, 其原因可能是次级产物丙二醛与羊肉中可获得的氨基相互作用生成 1-氨基-3-氨基丙烯, 从而导致 TBARS 值下降^[28]。第 28 天时, TBARS 值增加迅速, 这可能是由于随着微生物分泌出的脂肪酶越来越多从而导致了肌肉脂肪水解的加剧, 使脂肪氧化程度提升。在整个贮藏过程中, CO 组 TBARS 值一直处于较低水平, 其脂质氧化程度较小, 呈现出更为优秀的羊肉保鲜功能。

2.6 不同包装方式对羊肉水分含量和水分活度的影响

水分含量和水分活度是评价肉品新鲜度的重要指标, 两者的高低对羊肉结构、外观和质地有较大

影响。由表 7 可以看出, 随着贮藏时间的延长, 各组羊肉的锁水能力逐渐下降, 从而导致水分含量降低, 第 21 天时, 各组水分含量显著下降 ($P < 0.05$), 可能是由于在贮藏第 14 天到第 21 天内的氧化程度较高, 氧化程度越高, 水分流失就越严重^[29]。水分活度越大, 其贮藏性就越差^[30]。由表 8 可以看出, 在整个贮藏期中, 各组水分活度在 0.89~0.98 内波动, 相对于 CO₂ 组和 O₂ 组, 其中 Vac 组和 CO 组水分活度处于较低状态, 表明 Vac 组和 CO 组的贮藏性会相对较好些。

2.7 不同包装方式对羊肉剪切力的影响

嫩度是反应肉品质地的关键指标之一, 剪切力值越小, 嫩度越高^[31]。由表 9 可知, 在宰后 7 天后, 各组羊肉的剪切力大幅度减少, 并在之后试验期间保持相对稳定。这说明, 羊肉在宰后 7 天基本上完成了肌肉嫩化。第 21 天 CO 组剪切力异常上升, 可能是由于其较低的 pH 值导致, 剪切力值增加同时 pH 值较低 ($P < 0.05$), 肌肉的终点 pH 值越低, 就越接近肌肉蛋白质的等电点, 羊肉的剪切力也就越大; 肉的 pH 值提高, 剪切力也减小^[32]。在贮藏末期 (21、28 d), 剪切力值缓慢下降, 嫩度达到稳定值, 这与王守经等^[33]研究结果一致。在高氧环境下, 羊肉嫩度会降低, 但是在整个贮藏期中, O₂ 组剪切力值呈下降趋势, 这与 Santos-donado 等^[34]研究结果不一致, 其原因还有待考究。

表 6 不同包装方式的羊肉在 4 °C 条件下贮藏过程中 TBARS 值的变化

贮藏时间/d	Vac 组	CO ₂ 组	O ₂ 组	CO 组	mg/kg
0	0.09±0.01 ^{Ac}	0.09±0.01 ^{Ac}	0.09±0.01 ^{Ac}	0.09±0.01 ^{Ac}	
7	0.21±0.01 ^{Ab}	0.11±0.02 ^{Cc}	0.16±0.02 ^{Bd}	0.13±0.02 ^{BCc}	
14	0.09±0.03 ^{Cc}	0.11±0.02 ^{Cc}	0.46±0.05 ^{Ab}	0.34±0.01 ^{Bb}	
21	0.19±0.03 ^{Bb}	0.25±0.09 ^{Bb}	0.40±0.00 ^{Ac}	0.18±0.04 ^{Bc}	
28	0.67±0.00 ^{Ba}	0.55±0.04 ^{BCa}	1.37±0.00 ^{Aa}	0.50±0.12 ^{Ca}	

注: 上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一包装不同天数之间比较, 不同大写字母表示同一天数不同包装之间比较。

表 7 不同包装方式的羊肉在 4 °C 条件下贮藏过程中水分含量的变化

贮藏时间/d	Vac 组	CO ₂ 组	O ₂ 组	CO 组	%
0	74.85±1.18 ^{Aa}	74.85±1.18 ^{Aa}	74.85±1.18 ^{Aa}	74.85±1.18 ^{Aa}	
7	73.79±1.30 ^{Aa}	72.65±0.43 ^{Aa}	73.89±0.73 ^{Aa}	73.12±2.12 ^{Aab}	
14	72.49±1.97 ^{Aab}	73.44±2.71 ^{Aa}	74.25±2.06 ^{Aa}	74.19±1.29 ^{Aa}	
21	69.46±0.71 ^{Ac}	72.70±2.26 ^{Aa}	70.55±1.80 ^{Ab}	70.12±2.83 ^{Abc}	
28	70.98±1.15 ^{Abc}	68.93±1.34 ^{ABb}	69.09±2.01 ^{ABb}	66.69±0.88 ^{Bc}	

注: 上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一包装不同天数之间比较, 不同大写字母表示同一天数不同包装之间比较。

表 8 不同包装方式的羊肉在 4 °C 条件下贮藏过程中水分活度的变化
Tab.8 Changes in water activity of mutton with different packaging methods during storage at 4 °C

贮藏时间/d	Vac 组	CO ₂ 组	O ₂ 组	CO 组
0	0.98±0.02 ^{Aa}	0.98±0.02 ^{Aa}	0.98±0.02 ^{Aa}	0.98±0.02 ^{Aa}
7	0.92±0.03 ^{Bc}	0.95±0.04 ^{ABa}	0.98±0.00 ^{Aa}	0.91±0.00 ^{Bc}
14	0.97±0.00 ^{ABab}	0.95±0.01 ^{Ba}	0.98±0.00 ^{Aa}	0.97±0.00 ^{ABab}
21	0.90±0.01 ^{Ac}	0.89±0.02 ^{Ab}	0.89±0.02 ^{Ab}	0.90±0.02 ^{Ac}
28	0.93±0.03 ^{Abc}	0.96±0.01 ^{Aa}	0.96±0.01 ^{Aa}	0.95±0.01 ^{Ab}

注: 上标字母不同表示差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母表示同一包装不同天数之间比较, 不同大写字母表示同一天数不同包装之间比较。

表 9 不同包装方式的羊肉在 4 °C 条件下贮藏过程中剪切力的变化
Tab.9 Changes of shear force of mutton with different packaging methods during storage at 4 °C

贮藏时间/d	Vac 组	CO ₂ 组	O ₂ 组	CO 组	g
0	14 196.97±586.14 ^{Aa}	14 196.97±586.14 ^{Aa}	14 196.97±586.14 ^{Aa}	14 196.97±586.14 ^{Aa}	
7	8 542.09±317.79 ^{Ab}	6 654.26±415.05 ^{Bc}	7 945.02±696.06 ^{Ab}	8 285.51±58.41 ^{Ac}	
14	7 779.96±704.18 ^{Ab}	7 759.37±710.14 ^{Ab}	5 973.13±769.05 ^{Bc}	7 609.79±289.49 ^{Ac}	
21	5 903.54±403.85 ^{BCd}	6 203.33±169.46 ^{Bc}	5 521.73±253.69 ^{Cc}	9 356.37±396.56 ^{Ab}	
28	7 407.20±369.39 ^{Ac}	6 899.00±317.93 ^{Abc}	5 144.40±374.63 ^{Bc}	5 763.89±498.00 ^{Bd}	

注: 上标字母不同表示差异显著 ($P<0.05$), 不同小写字母表示同一包装不同天数之间比较, 不同大写字母表示同一天数不同包装之间比较。

3 结语

实验研究了真空包装和 3 种气调包装的黑山羊生鲜羊肉的保鲜效果, 结果表明, 3 种不同比例的气调包装分别通过不同的气调环境, 能够起到显著的保鲜作用。CO₂ 组不能起到很好的护色作用, 会影响消费者的购买欲, 但是能一定程度上延缓羊肉氧化酸败。O₂ 组中含有高浓度的氧气, 表现出较好的护色作用, 但同时高浓度的氧气也加速了脂肪氧化。相比之下, CO 组降低了羊肉的蛋白质和脂肪氧化, 抑制异味的生成, 并且有明显的抑菌效果, 同时使得肌肉具有较好的持水性, 减少了肉汁的渗出; 同时 CO 和肌红蛋白形成的碳氧肌红蛋白使得羊肉具有鲜艳的肉色。这些肉质特征大大增加了消费者的购买欲。综上所述, CO 组保鲜效果更好, 具有更长的货架期, 更适合作为冷鲜物流和商超售卖等场景下羊肉的保鲜方案。

参考文献:

- [1] 赵莉, 周英俊, 周林阳. 金堂黑山羊养殖技术和产品品质分析研究报告[J]. 今日畜牧兽医, 2022, 38(3): 60-63.
ZHAO Li, ZHOU Ying-jun, ZHOU Lin-yang. Research Report on Breeding Technology and Product Quality

Analysis of Jintang Black Goat[J]. Animal Husbandry and Veterinary Medicine Today, 2022, 38(3): 60-63.

- [2] 程智蓁, 张双其, 杨庆伦, 等. 高浓度 CO₂ 气调包装对冷藏草鱼品质的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(12): 196-201.
CHENG Zhi-zhen, ZHANG Shuang-qi, YANG Qing-lun, et al. Effect of High Carbon Dioxide Modified Atmosphere Packaging(MAP)on the Quality of Grass Carp(Ctenopharyngodon Idellus)during Refrigerated Storage[J]. The Food Industry, 2021, 42(12): 196-201.
- [3] 张新笑, 章彬, 卞欢, 等. 不同二氧化碳比例气调对冷鲜鸡肉中荧光假单胞菌的抑制作用[J]. 食品科学, 2018, 39(13): 266-271.
ZHANG Xin-xiao, ZHANG Bin, BIAN Huan, et al. Inhibitory Effect of Modified Atmosphere Packaging with Different Carbon Dioxide Concentrations on Pseudomonas Fluorescens in Chilled Chicken[J]. Food Science, 2018, 39(13): 266-271.
- [4] 赵菲, 荆红彭, 伍新龄, 等. 不同气调包装结合冰温贮藏对羊肉保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 232-237.
ZHAO Fei, JING Hong-peng, WU Xin-ling, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging in Combination with Ice-Temperature on Quality of Mutton during Storage[J]. Food Science, 2015, 36(14): 232-237.

- [5] 秦卫东, 贺菊萍, 王卫东, 等. 高氧气调包装肉类研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(1): 159-164.
QIN Wei-dong, HE Ju-ping, WANG Wei-dong, et al. Development on Researches of High Oxygen Modified Atmosphere of Meats[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 6(1): 159-164.
- [6] 张福生, 黄晶晶, 鄢嫣, 等. 高氧气调包装对安徽品种猪肉低温贮藏期间品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 198-203.
ZHANG Fu-sheng, HUANG Jing-jing, YAN Yan, et al. Effect of High Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Quality of Pork from Wei Pig Breeds in Anhui Stored at Chilling Temperature[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(11): 198-203.
- [7] 张慧娟, 潘见. 含 CO 的气调包装协同超高压对冷却猪肉杀菌护色效果的研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(12): 84-89.
ZHANG Hui-juan, PAN Jian. The Synergistic Effect of Modified Atmosphere Packaging with CO and Ultrahigh Pressure on the Sterilization and Color Protection of Chilled Pork[J]. Food Research and Development, 2021, 42(12): 84-89.
- [8] 甄少波, 李兴民, 解辉, 等. 一氧化碳气调包装肉的亚慢性毒性研究[J]. 毒理学杂志, 2006, 20(6): 421.
ZHEN Shao-bo, LI Xing-min, XIE Hui, et al. Study on Subchronic Toxicity of Carbon Monoxide Modified Atmosphere Packaging Meat[J]. Journal of Toxicology, 2006, 20(6): 421.
- [9] GB 4789. 2—2016, 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定[S].
GB 4789. 2-2016, National Standard for Food Safety, Determination of Total Number of Bacterial Colonies in Food Microbiology Test[S].
- [10] 马惠敏, 王振宇, 黄彩燕, 等. 包装对羊肉冷藏过程中热休克蛋白表达及羊肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2021, 35(3): 35-40.
MA Hui-min, WANG Zhen-yu, HUANG Cai-yan, et al. Effect of Packaging on Expression of Heat Shock Proteins in Lamb and Lamb Quality during Refrigeration Storage[J]. Meat Research, 2021, 35(3): 35-40.
- [11] 姜宏正, 杨德智, 马中华, 等. 儋州鸡胸肌肉色性状全基因组关联分析[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(6): 117-122.
JIANG Hong-zheng, YANG De-zhi, MA Zhong-hua, et al. Genome-Wide Association Study of Meat Color Traits in Danzhou Chickens[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2022, 58(6): 117-122.
- [12] GB 5009.228—2016, 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定[S].
GB 5009.228-2016, National Standard for Food Safety, Determination of Volatile Salt Nitrogen in Food[S].
- [13] GB 5009.181—2016, 食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定[S].
GB 5009.181-2016, National Standard for Food Safety, Determination of Malondialdehyde in Food[S].
- [14] 王柏辉, 韩利伟, 王德宝, 等. 绒山羊宰后成熟过程中羊肉品质和风味的变化分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 230-235.
WANG Bo-hui, HAN Li-wei, WANG De-bao, et al. Analysis of Change of Quality and Flavor in Cashmere Goat Meat during Postmortem Aging[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 230-235.
- [15] 谢菁. 冷鲜猪肉复合保鲜包装技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019: 14-20.
XIE Jing. Study on Compound Fresh-Keeping Packaging Technology of Cold Pork[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019: 14-20.
- [16] BASSEY A P, CHEN Yong-fang, ZHU Zong-shuai, et al. Evaluation of Spoilage Indexes and Bacterial Community Dynamics of Modified Atmosphere Packaged Super-Chilled Pork Loins[J]. Food Control, 2021, 130: 108383.
- [17] 卢航, 王语嫣, 刘晓燕, 等. 壳聚糖与生姜提取物对冷鲜肉贮藏过程中的保鲜效果[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-10[2022-07-28].
LU Hang, WANG Yu-yan, LIU Xiao-yan, et al. Effects of Chitosan and Ginger Extracts on the Preservation of Cold Meat during Storage [J/OL]. Food and Fermentation Industry: 1-10[2022-07-28].
- [18] 汤敏, 黄俊逸, 李聪, 等. 冷藏过程中不同包装德州扒鸡的微生物及理化特性[J]. 食品科技, 2020, 45(6): 122-129.
TANG Min, HUANG Jun-yi, LI Cong, et al. Study on Microbial and Physicochemical Characteristics of Dezhou Braised Chicken by Different Packaging Method during Chilled Storage[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(6): 122-129.
- [19] 申倩, 沙马沙浩, 刘永峰. 密封条件下冰温贮藏猪里脊肉的质构及理化特性变化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(7): 130-134.
SHEN Qian, SHA Ma-sha-hao, LIU Yong-feng. Changes in Texture and Physicochemical Properties of Pork Tenderloin under Controlled Frozen and Sealed Conditions[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(7): 130-134.
- [20] SMET K A G, ROELANDTS I, TEUNISSEN K, et al. Application Specific Extension of the MCRI: Memory

- Colors and Preferred Colors of Reddish Meat Products[J]. *Color Research & Application*, 2018, 43(6): 899-906.
- [21] 戴璿, 梁荣蓉, 罗欣, 等. 不同包装方式对冷鲜猪肉的保鲜效果[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(6): 171-178.
DAI Jin, LIANG Rong-rong, LUO Xin, et al. Effects of Different Packaging Methods on the Quality Traits of Chilled Pork[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2014, 40(6): 171-178.
- [22] MARTÍNEZ L, DJENANE D, CILLA I, et al. Effect of Varying Oxygen Concentrations on the Shelf-Life of Fresh Pork Sausages Packaged in Modified Atmosphere[J]. *Food Chemistry*, 2004, 94(2): 219-225.
- [23] 高海燕, 张瑞瑶, 贾甜, 等. 不同嫩化方法对鹅肉品质的影响[J]. *食品科学*, 2017, 36(7): 182-186.
GAO Hai-yan, ZHANG Rui-yao, JIA Tian, et al. Effects of Different Tenderization Treatments on the Quality of Goose Meat[J]. *Food Science*, 2017, 36(7): 182-186.
- [24] LIU P, WANG S, ZHANG H, et al. Influence of Glycated Nitrosohaemoglobin Prepared from Porcine Blood Cell on Physicochemical Properties, Microbial Growth and Flavour Formation of Harbin Dry Sausages[J]. *Meat Science*, 2019, 148: 96-104.
- [25] 张玉斌, 刘金鑫, 杜晓甜, 等. 冷却藏羊肉贮藏过程中物性特征与品质劣变相关性研究[J]. *食品与发酵科技*, 2017, 53(4): 49-54.
ZHANG Yu-bin, LIU Jin-xin, DU Xiao-tian, et al. Study on the Correlation between Physical Properties and Quality Deterioration of Stored Mutton during Storage[J]. *Food and Fermentation Sciences & Technology*, 2017, 53(4): 49-54.
- [26] 孙丹丹, 姬华, 李开雄, 等. 包装方式对冷鲜羊肉微生物的影响[J]. *肉类工业*, 2016(1): 28-32.
SUN Dan-dan, JI Hua, LI Kai-xiong, et al. Effect of Packaging Method on Microorganism of Chilled Mutton[J]. *Meat Industry*, 2016(1): 28-32.
- [27] 袁璐, 高峰, 周光宏. 高氧气调包装和真空包装对冷鲜肉贮藏过程中保水性和脂质氧化的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(18): 307-311.
YUAN Lu, GAO Feng, ZHOU Guang-hong. Effects of High Oxygen Modified Atmosphere Packaging and Vacuum Packaging on Water-Holding Capacity and Lipid Oxidation of Porcine Longissimus Dorsi during Chilled Storage[J]. *Food Science*, 2012, 33(18): 307-311.
- [28] 康怀彬, 赵丽娜, 肖枫, 等. 二次杀菌对真空包装酱牛肉货架期影响的研究[J]. *食品科学*, 2008(8): 617-620.
KANG Huai-bin, ZHAO Li-na, XIAO Feng, et al. Effect of Secondary Sterilization on Shelf Life of Vacuum Packaged Beef Sauce[J]. *Food Science*, 2008(8): 617-620.
- [29] 邓琬麒, 黄楠岚, 周衡刚, 等. 不同包装方式对即食香肠的保鲜效果比较[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(6): 10-17.
DENG Wan-qi, HUANG Nan-lan, ZHOU Heng-gang, et al. Comparison of Fresh-keeping effect of Different Packaging Methods on Ready-to-Eat Sausage[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(6): 10-17.
- [30] 翁航萍, 徐雄新. 肉类保藏技术(十六) 肉与肉制品的水分活度[J]. *肉类研究*, 2009(5): 67-70.
WENG Hang-ping, XU Xiong-xin. Meats Preservation(XVI) the Water Activity of Meat Products[J]. *Meat Research*, 2009(5): 67-70.
- [31] 杜曼婷, 黄俐, 高梦丽, 等. 介质阻挡放电低温等离子体处理对宰后羊肉品质的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-10[2022-07-28].
DU Man-ting, HUANG Li, GAO Meng-li, et al. Effects of Dielectric-barrier Discharge Low-temperature Plasma on Quality of Postmortem Mutton[J/OL]. *Food Science*: 1-10[2022-07-28].
- [32] 赵改名, 王艳玲, 田玮. 影响牛肉嫩度的因素及其机制[J]. *国外畜牧科技*, 2000(2): 35-40.
ZHAO Gai-ming, WANG Yan-ling, TIAN Wei. Factors and Their Mechanism Influencing Beef Tenderness[J]. *Animal Science Abroad*, 2000(2): 35-40.
- [33] 王守经, 王维婷, 胡鹏, 等. 羊肉冰温贮藏技术研究[J]. *山东农业科学*, 2017, 49(4): 124-128.
WANG Shou-jing, WANG Wei-ting, HU Peng, et al. Controlled Freezing-Point Storage Technology of Mutton[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2017, 49(4): 124-128.
- [34] SANTOS-DONADO P R, DONADO-PESTANA C M, OSSAMU TANAKA F A, et al. Effects of High-Oxygen, Carbon Monoxide Modified Atmospheres and Vacuum Packaging on Quality of Longissimus Thoracis et Lumborum Steaks from Nellore Cows during Ageing[J]. *Food Research International (Ottawa, Ont)*, 2021, 143: 110226.